第32卷 第3期 昆虫学报 Vol. 32, No. 3
1989年8月 ACTA ENTOMOLOGICA SINICA Aug., 1989

环境温湿度对狭翅雏蝗体温与含水量的影响

王智翔 陈永林
(中国科学院动物研究所，北京)

摘要 昆虫体内环境(体温、体含水量)受外界环境条件影响极大，昆虫通过改变水的获得与损失维持体内水分平衡。本文提出"平衡温湿条件"这一概念，并用以描述昆虫体内水分平衡与环境温、湿度的关系，禁食昆虫体内含水量保持不变时的环境温、湿度条件为"平衡温湿条件"。对于狭翅雏蝗 *Chorthippus dubius* (Zub.) 末龄蝻，其平衡温湿条件若以温湿系数(Q)表示，为 $Q=2.87$。当 $Q>2.87$ 时，虫体含水量增高；当 $Q<2.87$ 时，虫体含水量下降。狭翅雏蝗调节体温的能力较差，对于其末龄蝻体温的研究表明，静止时，蝗蝻体温与环境温度一致；运动可使体温高于环境温度1—2℃；接受太阳辐射可使体温高于环境温度1—10℃(辐射强度为77500—161000 Lux 时)。狭翅雏蝗种群世代净增长率达到最大时的环境温、湿度条件与"平衡温湿条件"接近。

关键词 狭翅雏蝗 温度 湿度

气象因素对昆虫的作用方式虽然各不相同，但都是通过改变昆虫的体内环境(体温、体含水量)起作用的。关于体温与气象因素关系的研究，前人已做了许多工作(Gunn, 1942; Heath, 1971; Kemp, 1986; 黄冠辉、龙庆成，1962)。特别是 Stower 等(1966)以沙漠蝗 *Schistocerca gregaria* 为材料，对昆虫体温与环境的关系进行了详细的研究。

虫体水分平衡与气象因素关系的一个重要方面是昆虫从不饱和空气中吸水的能力。关于这方面的报道日见增多(Buxton, 1932; Ludwig, 1945; Wharton 等, 1968; Radolph, 1982、1983)。并且，Lees (1946) 据此最早提出平衡湿度的概念。Wharton (1963) 进一步指出，以禁食昆虫体重变化对环境湿度作用，重量变化为零时的环境湿度为平衡湿度，此后，Arlium (1975) 又提出临界平衡蒸汽压的概念，指出禁食昆虫体重保持不变时的环境蒸汽压为临界平衡蒸汽压。

以体重不变定义平衡湿度有一定的误差，昆虫由于产生代谢水，体重不变时，虫体含水量实际上随时间增加，而且对不能从不饱和空气中吸水的昆虫，在不取食、不饮水时，体重总是下降(但由于代谢水的产生，虫体含水量并非总是下降)。虫体含水量的增加或减少，取决于代谢水的产生量和体重损失量的大小。另外，温度对昆虫体内水分平衡也有很大影响。

因此我们可以给出一新的概念，即"平衡温湿条件"，禁食昆虫体内含水量保持不变时的温、湿度条件为"平衡温湿条件"。

本文以狭翅雏蝗 *Chorthippus dubius* (Zub.) 为对象，研究其体温、体含水量与环

本文于1987年1月收到。
* 本文承马世骏教授审阅并提出修改意见，特此致谢。

境温、湿度的关系。

材料和方法

一、材料来源　狭翅雏蝗卵于1984年被取自内蒙古锡林河流域的中国科学院内蒙古草原生态系统定位站附近。蝗卵在室内孵化饲养，饲料为小麦苗。

二、温、湿度控制　温度控制采用双层木制恒温箱，控温精度 ±0.5℃，箱内实验部分温度变幅 ±1.0℃。湿度控制采用硫酸溶液，控湿精度 ±8%。

三、蝗虫体温测量　采用铜-康铜热电偶法，主要参考 W. J. Stower 和 J. F. Griffiths (1966) 的方法。

四、虫体含水量测定　选取末龄蝻(不计雌雄)，令其在30℃、80% 相对湿度下禁食24小时，待体内粪便全部排出后，用电动天平(精度 0.1 毫克)称重，将称重后的蝻分别置于人工控制的各种温、湿度下，每一种条件放蝻 4 只。24 小时后，再分别称重，记录其重量的变化和单位体重的重量变化，取其平均值。最后，将这些蝻置 105℃ 烘箱内烘干至恒重，以此计算虫体含水量。以 30℃、80% 相对湿度条件下禁食 24 小时的蝻体含水量为标准含水量。

结　　果

一、狭翅雏蝗体温与环境温度的关系

昆虫体温受环境温度影响很大，在一般情况下，体温都与环境温度接近。但是，当昆虫处在不同状态时，情况不尽相同。我们在室内对静止时和经 1 分钟强迫运动后狭翅雏蝗体温与环境温度关系进行了初步研究，并在野外研究了太阳辐射对其体温的影响。

1. 静止时狭翅雏蝗体温与环境温度的关系

我们选择 15 头静止状态下的末龄蝻，在不同温度下测量其体温，并计算其体温 ($T_{体}$) 与环境温度 ($T_{环}$) 的差值 $\Delta T(\Delta T = T_{体} - T_{环})$ (图 1)。

图 1 表明体温与环境温度很接近，t 检验表明差异性不显著。差值 ΔT 在零附近波动，同环境温度的高低没有关系。

2. 强迫运动后狭翅雏蝗体温与环境温度的关系

运动引起代谢热的产生一般可使昆虫体温升高。我们选择 10 只末龄蝻，强迫其运动 1 分钟后测量体温值，并计算其体温与环境温度的差异 ΔT (图 2)。

图 2 表明，运动后蝗蝻体温高于环境温度，幅度为 0.5—4.0℃，平均高 1.6±0.9℃。t

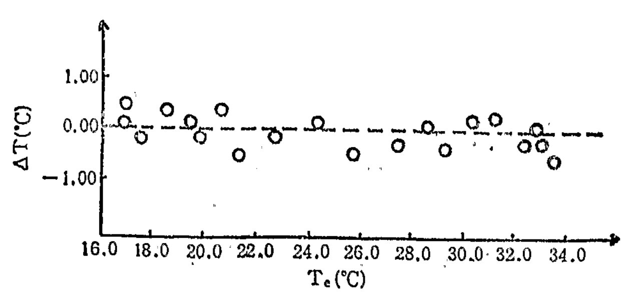


图 1　静止状态下狭翅雏蝗末龄蝻体温与环境温度的关系

检验表明差异极显著（$P < 0.01$）。差值 ΔT 的大小与环境温度无关。

3. 太阳辐射下狭翅雏蝗体温与环境温度的关系

此项实验在中国科学院内蒙古草原生态系统定位站内进行，同时记录光照强度、末龄蝻体温和环境温度（表 1）。

表 1　太阳辐射下狭翅雏蝗末龄蝻体温与环境温度的关系

环境温度 T_e(℃)	体温 T_b(℃)	$\Delta T = T_b - T_e$	太阳辐射强度 (*Lux*)
21.6	25.2	3.6	127500
21.6	28.9	7.3	150000
22.8	25.2	2.4	118000
22.8	26.7	3.9	150000
23.6	25.9	2.1	117500
23.8	24.8	1.0	77500
23.8	25.9	2.1	117500
25.8	34.5	8.7	153000
26.0	35.8	9.8	161000
26.7	33.8	7.4	142000
28.2	34.5	6.3	142000
28.6	35.8	7.2	142500
23.9	26.6	2.7	123000
23.8	25.4	1.6	115000
23.9	25.4	1.5	115000

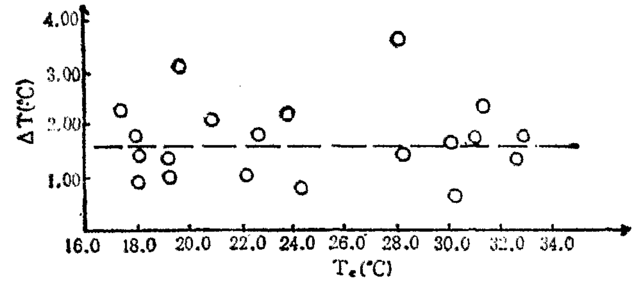


图 2　强迫运动后狭翅雏蝗末龄蝻体温与环境温度的关系

表 1 表明，在太阳辐射下蝗蝻体温明显高于环境温度。在实验的光照强度范围内，ΔT 为 10—9.8℃，平均为 $\overline{\Delta T} = 4.7$℃。对这一差异进行 t 检验表明，差异性极显著（$P < 0.01$）。差值 ΔT 的大小与环境温度无关。

体温增加与光照强度的关系见图 3。

从图 3 看出，体温增加受光照强度影响，随光照强度的增加而呈直线上升。

进行线性回归可得回归方程：

$$\Delta T = -9.946 + 0.00011L$$

其中 L 为光照强度。

相关系数 $r = 0.840$，相关显著性检验表明，相关性极显著（$P < 0.01$）。

按此回归方程式，光强 $L \leqslant 90418$Lux 时，则不能提高蝗蝻体温。

二、不同温、湿度条件对狭翅雏蝗虫体含水量的影响

不同温、湿度条件可以直接影响狭翅雏蝗体内的水分平衡，引起虫体含水量的变化。置于不同温、湿度条件下 24 小时的狭翅雏蝗末龄蝻体重变化见表 2，表中体重变化是以单位体重的重量变化表示。

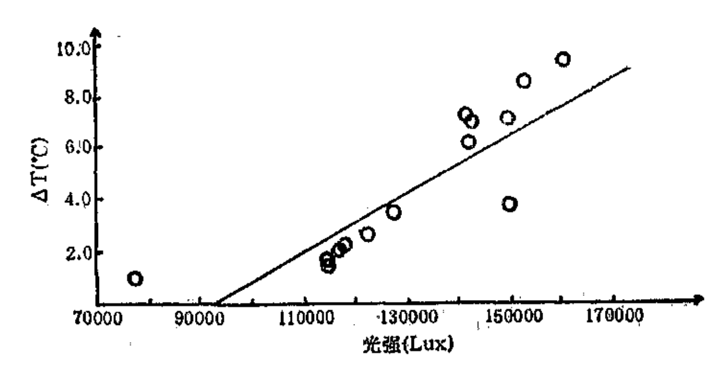


图 3　狭翅雏蝗末龄蝻体温增加与光照强度的关系

表 2　不同温、湿度条件下狭翅雏蝗末龄蝻单位体重的重量变化

温　度	相对湿度(%)	单位体重减轻量 (g/g)				均　值
30℃	50	0.125	0.128	0.135	0.160	0.137±0.004
35℃	60	0.110	0.116	0.118	0.120	0.116±0.004
30℃	60	0.105	0.108	0.111	0.124	0.112±0.008
35℃	80	0.090	0.095	0.101	0.102	0.097±0.006
30℃	80	0.088	0.091	0.106	0.095	0.095±0.008
28℃	60	0.081	0.081	0.101	0.085	0.087±0.010
28℃	80	0.072	0.076	0.083	0.089	0.080±0.008
25℃	80	0.085	0.076	0.079	0.068	0.077±0.007
30℃	90	0.045	0.048	0.056	0.067	0.054±0.010
30℃	100	0.029	0.030	0.035	0.021	0.029±0.006

表 2 表明，在所有实验条件下，蝗蝻体重均下降。温度越高，相对湿度越低，体重下降越大。在 30℃、50% 相对湿度时，下降最大；在 30℃、100% 相对湿度时，下降最小，而且相对湿度的影响比温度更为强烈。例如，35℃、60% 相对湿度处理与 30℃、50% 相对湿度处理相比，虽然前者温度比后者高 5℃，但由于相对湿度高 10%，所以体重下降反而小于后者。

以 30℃ 各相对湿度下蝗蝻体重变化值对相对湿度倒数进行回归分析，所得回归方程为：

$$\Delta W = -0.0433 + 0.0931 \times 1/RH$$

相关系数 $r = 0.928$，相关显著性检验表明，相关性显著 ($P < 0.05$)。回归直线如图 4 所示。

按这一回归方程，当 $\Delta W = 0$ 时，$RH = 215.0\%$，这显然是不可能的，而当 $RH = 100\%$ 时，$\Delta W = 0.0498$(g/g) 这说明，即使在饱和湿度下，体重变化量也达 0.0498(g/

g)。

但是,体重的这种变化,并非完全代表虫体含水量的变化。通过烘干称重得到在不同温、湿度下虫体含水量变化值(表 3)。

表 3　不同温湿度下狭翅雏蝗末龄蝻体含水量变化以及与标准条件下含水量差值的检验

温度	相对湿度(%)	百分含水量(%)				均值	与标准差值	t 值	显著性
25℃	80	70.42	71.06	71.45	71.80	71.18±0.59	−0.36	0.840	否
30℃	80	70.65	71.26	71.03	71.35	71.07±0.31	−0.47	1.356	否
30℃	90	71.98	72.15	72.18	72.56	72.22±0.24	0.68	2.048	(*)
28℃	80	72.85	71.65	72.40	73.13	72.51±0.65	0.97	2.160	(*)
28℃	60	70.05	69.91	70.26	70.39	70.15±0.21	−1.39	4.247	**
30℃	100	73.01	72.80	72.42	73.83	73.02±0.60	1.48	3.430	*
35℃	80	68.98	69.23	69.78	70.08	69.52±0.50	−2.02	5.072	**
30℃	60	68.26	68.74	68.90	69.88	68.95±0.68	−2.59	5.629	**
35℃	60	65.33	65.47	66.81	68.02	66.41±0.27	−5.13	7.260	**
30℃	50	64.53	65.21	63.18	67.02	64.99±0.60	−6.55	7.634	**
标准值		71.58	71.19	70.99	72.40	71.54±0.62			

(*): $P<0.10$ 较显著　*: $P<0.05$ 显著　**: $P<0.01$ 极显著。

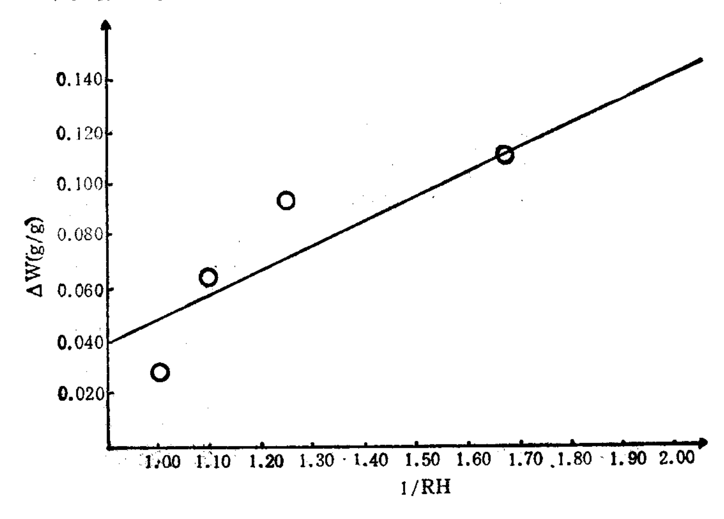


图 4　30℃下狭翅雏蝗单位体重的重量损失对相对湿度倒数的回归分析

表 3 表明,同标准含水量相比,在不同温、湿度条件下,含水量并非都降低,在 30℃、90% 及 100% 相对湿度和 28℃、80% 相对湿度下,含水量都有所增加。

对各种温、湿度条件下虫体含水量与标准含水量的差值进行检验,结果如表 3 所示,除了 25℃、80% 相对湿度和 30℃、80% 相对湿度时差异不显著外,其他条件下,差异均显著。

我们以 $Q=\frac{100\times RH}{T}$ 代表温、湿度对虫体含水量影响的综合作用进行回归分析

(表 4)。

表 4　狭翅雏蝗末龄蝻体含水量变化与 $\frac{RH\times100}{T}$ 的回归分析

$\frac{RH\times100}{T}$	1.667	1.714	2.000	2.143	2.286	2.667	2.857	3.000	3.200	3.333
百分含水量变化(%)	−6.55	−5.13	−2.59	−1.39	−2.02	−0.47	0.97	0.68	−0.36	1.48
回归方程	$Y=-11.32+3.938\times\frac{RH\times100}{T}$									
相关系数	$r=0.910$									
显著性	$F=38.54$									

回归方程表明，当 $Q=2.87$ 时，$Y=0$，说明此时虫体含水量保持不变；当 $Q>2.87$ 时，虫体含水量增加；当 $Q<2.87$ 时，虫体含水量下降。

讨　论

对狭翅雏蝗体温的研究表明，狭翅雏蝗这类变温昆虫的体温主要受环境温度的影响，通过生理机制调节体温的能力很差。但是，它可以通过行为在一定程度上调节体温。运动可以使体温增加，运动 1 分钟后的体温平均比环境温度高 1.6℃；接受太阳辐射则是其提高体温最有效的方法，当辐射强度高于 90418Lux 时，都可以提高体温，辐射越强，体温提高越大。当照度为 160000Lux 时，体温可增加 9℃。

温度、湿度可以强烈影响昆虫体内的水分平衡。前人在研究昆虫从不饱和空气中吸水能力的基础上提出了平衡湿度等概念，这对于了解昆虫的水分平衡很有意义。但以体重不变定义，平衡湿度不够精确，而仅仅把水分平衡同从不饱和空气中吸水的能力联系在一起也不够全面。

我们以下式计算虫体含水量：

$$G(\text{虫体含水量})=\frac{W_{水}(\text{虫体总含水量})}{W_{虫}(\text{昆虫体重})}$$

禁食昆虫在一定的环境条件下，经过一段时间后，虫体总含水量的变化为：

$$\Delta W_{水}=[W_{水}+A_1(\text{从不饱和空气中吸水量})+A_2(\text{代谢水产生量})-A_3(\text{水的蒸发损失量})]-W_{水}=A_1+A_2-A_3 \quad (1)$$

体重的变化为：

$$\Delta W_{虫}=(W_{虫}+A_1-A_3)-W_{虫}=A_1-A_3 \quad (2)$$

虫体含水量变化为：

$$\Delta G=\frac{W_{水}+\Delta W_{水}}{W_{虫}+\Delta W_{虫}}-\frac{W_{水}}{W_{虫}}=\frac{W_{水}+A_1+A_2-A_3}{W_{虫}+A_1-A_3}-\frac{W_{水}}{W_{虫}} \quad (3)$$

若昆虫不具有从不饱和空气中吸水的能力，则：

$$\Delta W_{虫} = -A_3 \tag{4}$$

$$\Delta W_{水} = A_2 - A_3 \tag{5}$$

$$\Delta G = \frac{W_{水} + A_2 - A_3}{W_{虫} - A_3} - \frac{W_{水}}{W_{虫}} \tag{6}$$

(4) 式表明，对不能从不饱和空气中吸水的昆虫，体重的减小量等于水的蒸发量，只要有蒸发，体重就会下降。

(5) 式表明，当虫体代谢水的产生量等于水的蒸发量时，虫体总含水量保持恒定，但按(6)式，此时 $\Delta G = \frac{W_{水}}{W_{虫} - A_3} - \frac{W_{水}}{W_{虫}}$，虫体含水量仍增加。

由(6)式，令 $\Delta G = 0$，可导出:

$$A_2 = (1 - G)A_3 \tag{7}$$

由于 $1 > (1 - G) > 0$，所以，$A_2 < A_3$，(7) 式表明，当代谢水的产生量是体重减少量的 $1-G$ 倍时，虫体含水量保持不变，此时的环境温、湿度条件为昆虫的“平衡温湿条件”。

采用“平衡温湿条件”这一新概念有以下优点：(1) 它能直接反映昆虫维持体内水分平衡所需的环境条件；(2)对所有昆虫(至少是绝大多数)都可以找到它们的“平衡温湿条件”；(3)它不仅反映了湿度对昆虫体内水分平衡的影响，也反映了温度的影响，因而更为全面。

对狭翅雏蝗水分平衡与温、湿度关系的研究表明，在实验中采用的温、湿度条件下，其体重均下降，因此，可以推测其不具有从不饱和空气中吸水的能力。另一方面，其虫体含水量受温、湿度的强烈影响，其“平衡温湿条件”若以温湿系数表示，为 $Q = 2.87$；而 $Q > 2.87$ 时，虫体含水量增加；$Q < 2.87$ 时，虫体含水量下降。

狭翅雏蝗“最适温湿条件”(即种群世代净增长率达到量大时温湿条件)为 $Q = 2.03 - 2.96$ (王智翔等，1988)，该值与“平衡温湿条件”很接近。说明，有利于狭翅雏蝗体内水分平衡的温湿条件，也有利于其种群增长。

参 考 文 献

黄冠辉、龙庆成 1962 东亚飞蝗飞行时的体温。昆虫学报 11(4): 419—21。

王智翔、陈永林、马世骏 1988 温、湿度对狭翅雏蝗 *Chorthippus dubius* (Zub.) 实验种群影响的研究。生态学报 8(2): 125—32。

Arlium, L. G. 1975 Water change and effect of water vapor activity on metabolic rate in the dust mite, *Dermatophagoides*. *J. Insect Physiol.* 21: 1439—42.

Buxton, P. A. 1932 Terrestrial insects and the humidity of the environment. *Biol. Rev. Camb. Phil. Soc.* 7(4): 275—320.

Gunn, D. L. 1942 Body temperature in poikilothermal animals. *Biol. Rev. Camb. Phil. Soc.* 17: 293—314.

Heath, J. E. et al 1974 Adaptation of the thermal responses of insects. *Am. Zool.* 11: 145—56.

Kemp, W. P. 1986 Thermoregulation in three rangeland grasshopper species. *Can. Entomol.* 118(4): 335—43.

Lees, A. D. 1946 The water balance in *Ixode ricinus* L. and certain other species of ticks. *Parasitology* 37: 1—20.

Ludwig, D. 1945 The effects of atmospheric humidity on animal life. *Physiol. Zool.* 18: 103—35.

Rudolph, D. 1982 Site, process and mechanism of active uptake of water vapor from the atmosphere in the Psocoptera. *J. Insect Physiol.* 28(3): 205—12.

——— 1983 The water-vapor uptake system of the Phithiratera. *J. Insect Physiol*. 29(1): 15—25.

Stower, W. J. & Griffiths, J. E. 1966 The body temperature of the desert locust (*Schistocerca gregaria*). *Entomol. Exp. Appl.* 9: 127—78.

Wharton, G. W. 1963 Equilibrium humidity. Advances in Acarology Vol 1: 201—208.

Wharton, G. W. & Devine, T. L. 1968 Exchange of water between a mite, *Laelaps echidnina*, and the surrounding air under equilibrium conditions. *J. Insect Physiol*. 14: 1303—18.

THE INFLUENCE OF ENVIRONMENTAL TEMPERATURE AND HUMIDITY ON THE BODY TEMPERATURE AND WATER CONTENT OF *CHORTHIPPUS DUBIUS* (ZUB.)

Wang Zhi-xiang　　Chen Yong-lin

(*Institute of Zoology, Academia Sinica, Beijing*)

The body temperature and water content of insects are evidently influenced by environmental conditions. Insects can maintain water equilibrium by changing gain and loss of water. A new concept of equilibrium in temperature and humidity conditions (ETHC) is adopted in the present work to investigate the relationship between water equilibrium in insects and environmental temperature and humidity. The environmental condition of temperature and humidity which can keep the water content of an insect without access to food to be constant is called the ETHC of the insect. The ETHC of the last instar nymph of *Chorthippus dubius* (Zub.) expressed in temperature-humidity coefficient (Q) is $Q=2.87$. When $Q>2.87$ its water content will increase, while $Q<2.87$ it will decrease.

Ch. dubius has little capacity to regulate its body temperature. The last instar nymph in quiet condition has body temperature equal to the ambient temperature but its locomotion can increase body temperature by 1—2°C. Under the sun (77,500 to 161,000 lux) its body temperature can increase by 1—10°C.

The environmental temperature and humidity at which the net reproduction rate (R_0) of *Ch. dubius* attains the maximum are similar to its ETHC.

Key words　*Chorthippus dubius* (Zub.)——temperature——humidity